

Modelación de la papa en Latinoamérica

*Estado del arte y base
de datos para
parametrización*

Autores:

Bruno Condori, Antonio de la Casa,
Adalton Mazetti Fernandes, Rogério
Peres Soratto, Sandra Olarte, Eduardo
Jerez Mompies, Neidy Lorena Clavijo
Ponce, Diego Rodríguez, Beatriz
Gómez Benítez, Irene Trebejo,
Francisco Vilaró, Claudio García, Lina
Sarmiento, Joysee Rodríguez Baide y
Maurits van den Berg



Series de Estudios Temáticos EUROCLIMA
Acción de Modelación Biofísica de Cultivos

2016



This publication is a Technical report by the Joint Research Centre (JRC), the European Commission's science and knowledge service. It aims to provide evidence-based scientific support to the European policymaking process. The scientific output expressed does not imply a policy position of the European Commission. Neither the European Commission nor any person acting on behalf of the Commission is responsible for the use that might be made of this publication.

JRC Science Hub

<https://ec.europa.eu/jrc>

JRC105077

EUR 28396 ES

PDF	ISBN 978-92-79-64946-2	ISSN 1831-9424	doi:10.2788/520167
Print	ISBN 978-92-79-64947-9	ISSN 1018-5593	doi:10.2788/11877

Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2016

© European Union, 2016

© The authors. Each party owns copyright to the part of the data he or she has created and delivered in the database associated to this report.

The reuse of the document is authorised, provided the source is acknowledged and the original meaning or message of the texts are not distorted. The European Commission shall not be held liable for any consequences stemming from the reuse.

How to cite this report: Condori Ali B; De La Casa A; Adalton Mazetti F; Rogério Peres S; Olarte Mantilla S; Jerez Mompies E; Clavijo Ponce N; Rodríguez D; Gómez Benitez B; Trebejo I; Vilaro F; García C; Sarmiento L; Rodríguez Baide J; Van Den Berg M. 2016. *Modelación de la papa en Latinoamérica: Estado del arte y base de datos para parametrización*; Luxembourg: Publications Office of the European Union; EUR 28396 ES; doi:10.2788/520167

All images © European Union 2016, except three pictures in front page, property of Bruno Condori; and except for the logos on pages 3 and 4, which are the property of the external parties respectively as listed.

Modelación de la papa en Latinoamérica: Estado del arte y base de datos para parametrización

Instituciones colaboradoras

ARGENTINA



Universidad
Nacional
de Córdoba

Universidad Nacional de Córdoba



FCA
Facultad de Ciencias
Agropecuarias

Facultad de Ciencias Agropecuarias



Fundación PROINPA



Agricultural Research Service

United States Department of Agriculture, USA



Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP-
BOTUCATU



Centro de Raíces e Amidos Tropicais



Pontificia Universidad Javeriana, Colombia



Instituto Nacional de Ciencias Agrarias

BOLIVIA

BRASIL

COLOMBIA

CUBA

ECUADOR



Escuela Superior Politécnica de Chimborazo,

PARAGUAY



MINISTERIO DE
**AGRICULTURA
Y GANADERÍA**

Ministerio de Agricultura y Ganadería



Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria

PERU



Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
del Peru

URUGUAY



Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria
U R U G U A Y

Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria

VENEZUELA



Universidad de Los Andes

Tabla de contenidos

Tabla de contenidos	5
Prefacio	6
Agradecimientos	7
Resumen ejecutivo.....	8
Executive summary	10
1. Introducción.....	12
2. El estado del arte de la modelación de la papa en Latinoamérica	13
3. Métodos de levantamiento de la información	17
4. Cobertura geográfica de los estudios de papa en Latinoamérica	20
5. Sistemas de producción de papa en Latinoamérica.....	23
6. Análisis de caso de los estudios de modelación y agronómicos	25
7. Índices agro-fisiológicos: crecimiento de área foliar, materia seca e índice de cosecha.....	30
8. Conclusiones generales	37
9. Cómo acceder y utilizar la información.....	39
10. Científicos e instituciones colaboradoras	41
11. Referencias bibliográficas	43
ANEXOS	49
I Guía del usuario del anexo digital.....	49
II. Lista de modelos de cultivo y plataformas de simulación referidos en este informe y enlaces de descarga	50
III Estudios complementarios, que podrían incluirse en una segunda versión de esta base de datos.....	51

Prefacio

EUROCLIMA es un programa de cooperación regional entre la Unión Europea y América Latina enfocado en el cambio climático y financiado por el Directorado General para la Cooperación Internacional y el Desarrollo (DG DEVCO G/2) de la Comisión Europea (www.euroclima.org). Su objetivo es facilitar la integración de las estrategias de mitigación y adaptación ante el cambio climático en las políticas y planes de desarrollo en América Latina. Este informe se llevó a cabo dentro del marco de la segunda fase de EUROCLIMA, dentro del componente tres: Agricultura Sostenible, Seguridad Alimentaria y Cambio Climático; y forma parte de las actividades de desarrollo, investigación, creación de capacidad y aplicación de modelación biofísica, coordinadas por el Centro Común de Investigación (JRC) de la Comisión Europea.

Este informe responde a una de las necesidades identificadas durante los talleres e interacciones con científicos latinoamericanos en cuanto a la falta de información y datos específicos disponibles para calibración de modelos, de los cultivos principales para la región, como es el caso de la papa. El objetivo principal de este trabajo fue: producir una base de datos con información específica para el contexto LAC, que permita la calibración y parametrización regional de modelos de cultivo de papa. Este informe es el primero de una serie de documentos similares, cuya publicación se prevé en los próximos meses sobre: maíz, trigo, arroz, frijol, soja, caña de azúcar y café.

Los puntos de vista expresados en este estudio son de los autores y no reflejan necesariamente los de la Comisión Europea. Ni la Comisión Europea ni las personas que las representan son responsables del uso que pueda hacerse de la información que se proporciona a continuación.

Agradecimientos

Se agradece a todos los profesionales en el presente estudio quienes contribuyeron con sus datos y a las instituciones que cobijaron e impulsaron los trabajos de investigación.

Los datos climáticos para los países con experimentos agronómicos fueron obtenidos desde NASA Langley Research Center POWER Project, el cual es financiado por NASA "Earth Science Directorate Applied Science Program" <http://tinyurl.com/NASA-Papa-Euroclima>.

Modelación de la papa en Latinoamérica: Estado del arte y base de datos para parametrización

Resumen ejecutivo

La papa en Latinoamérica (LA) es un cultivo con importancia social y económica, y constituye la base alimentaria de varios países. La variabilidad y el cambio climático incrementan la incertidumbre de los rendimientos que alcanzarán los cultivos. Modelos de simulación que permitan explicar los rendimientos a través de la interacción del genotipo - ambiente más su manejo, pueden ser la herramienta destinada a reducir la incertidumbre sobre los rendimientos de los cultivos y ayudar a reducir la brecha del rendimiento respecto a la productividad potencial. Sin embargo, a pesar de la utilidad de estas herramientas, la información no está fácilmente disponible para evaluar estos modelos, es por esto que el objetivo del presente trabajo fue recopilar información relevante sobre el cultivo de papa que permita evaluar los modelos de simulación y desarrollar una base de datos para la calibración y validación. La base de la búsqueda fue a través de artículos publicados a nivel nacional e internacional y contacto con los autores de las publicaciones para poder acceder a la información. Producto de ello se accedió a 10 países de Latinoamérica (Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Cuba, Ecuador, Perú, Paraguay, Uruguay y Venezuela) con información detallada y posible de ser introducida en el análisis de modelación de la papa. De acuerdo a las publicaciones accedidas, se han podido identificar varios trabajos de modelación principalmente en la Zona Andina. La temática más frecuente es la evaluación de variedades y su calibración en diferentes modelos de simulación, así como la cuantificación de la diversidad genética de la papa en las alturas. La aplicación de fertilizante e irrigación, así como el estudio de plagas y enfermedades de la papa completan los recursos estudiados bajo el enfoque de modelación. También fue posible advertir dos grandes enfoques en los sistemas de producción de LA, aquellos basados en sus zonas de origen, donde la agro biodiversidad (varias especies y variedades de papa) es más relevante que la

productividad y donde la papa juega un rol de beneficio social (agricultores conservacionistas) y económico (autoconsumo); el otro criterio se enfoca en las zonas de alta producción, donde se prioriza los altos rendimientos y los sistemas de producción tienden al monocultivo, con una importante inversión económica. En cuanto al detalle de datos de acuerdo a los estudios accedidos, 5 países presentan la información básica de clima, suelos y de cultivos de manera dinámica, es decir con varias cosechas intermedias siendo las más completas; otros 5 países contribuyeron con información agronómica general, suelo, clima y cultivos con variables medidas a lo largo de cada ciclo de cultivo. De acuerdo a la información compilada se presenta la base de datos para 10 países de LA, 5 de los cuales podrían ser usados para calibración y las restantes para la validación de un modelo en particular, de acuerdo a las condiciones de clima, suelo y manejo de cada región particular en los diversos sistemas de producción de LA, pudiendo ser puntos de control en el caso de que se aplique a un análisis espacial como es el caso de la plataforma BIOMA Spatial. El acceso de la información será posible a través de contacto con los investigadores relacionados en este estudio.

Palabras clave. papa, Latinoamérica, modelos de simulación, base de datos, parametrización, rendimiento, EUROCLIMA.

Potato modelling in Latin America: State of the art and data base for parameterization

Executive summary

In Latin America (LA), potato is a crop with social and economic importance and which forms the food base in several countries. Climate change and variability increase the uncertainty of attainable crop yields. Simulation models that allow to estimate yields through the assessment of genotype - environment interaction and crop management, can important tools to reduce the uncertainty about attainable crop yields and to help reduce the yield gap with respect to the potential productivity.

However, despite the usefulness of these tools, information is not readily available to evaluate such models. That is why the objective of the present work was to collect relevant information on the potato crop that allows to evaluate simulation models and to create a database to calibrate and validate such tools.

The basis of the search was through articles published nationally and internationally; as well as through direct contacts with the authors of the publications, to allow access to the underlying information. As a result, information with sufficient detail to be introduced in the potato modelling analysis was accessed in 10 countries in Latin America (Argentina, Bolivia, Brazil, Colombia, Cuba, Ecuador, Peru, Paraguay, Uruguay and Venezuela). Moreover, several modelling studies were identified; mainly in the Andean Zone.

The most frequent theme in the modelling publications is the evaluation of varieties and their calibration in different simulation models, as well as the quantification of the genetic diversity of potato crops at high altitudes. Other themes include the application of fertilizer and irrigation, as well as the study of potato pests and diseases. Two major focusses on LA potato production systems are noted: (i) those based on their zones of origin, where agro biodiversity (several species and varieties of potato) is more relevant than productivity and where potato plays a beneficial social (conservationist farmers) and economic (self-consumption) role; and (ii) areas of high production,

where high yields are prioritized and production systems tend to monoculture, with a significant economic investment.

Regarding the detail of the data in the studies accessed, 5 countries present the basic information on climate, soils and crops in the course of the crop cycle, thus being the most complete. Another 5 countries contributed with general agronomic information on climate and crops with some variables measured over time. The database is presented for 10 LA countries with one data set each. Five of these could be used for calibration and the remaining for validation of a particular model, according to the climate, soil and management conditions of each particular region in the various production systems of LA, and which could serve as control points in case of spatial applications as is the case of the BioMA Spatial platform. Access to the information will be possible through contact with the investigators involved in this study.

Keywords: Potato, Latin America, simulation models, database, parameterization, yield, EUROCLIMA.

1. Introducción

La papa es un cultivo milenario domesticado en los Andes centrales que data desde 10000 años atrás (Hawkes 1988). Gracias al manejo de los antiguos habitantes de la región andina, el tubérculo fue seleccionado desde varios grupos cultivados hasta obtener las variedades que se producen actualmente (Huamán & Spooner 2002). Es remarcable el valor económico y alimenticio de la papa siendo el tercer cultivo más importante a nivel mundial, y uno de los primeros en Latinoamérica (FAOSTAT 2015). Especialmente en las zonas altas de los Andes, donde es la base alimenticia y nutricional, su aporte en la seguridad alimentaria es fundamental para los agricultores y las familias que la producen (Devaux et al. 2014). Desde el Año Internacional de la Papa declarado por la FAO en 2008, su producción en las zonas de origen ha sido revalorada y su consumo ha sido innovado a través del uso de papa nativas en gastronomía muy selecta (Yumisaca et al. 2009). Por otra parte, nuevos países han introducido y reforzado su sistema de producción por su alta eficiencia productiva y por su valor alimenticio (Quiroz et al. 2014). La diversidad de las papas para adaptarse a diferentes ambientes y clima está siendo estudiada con más interés para que con el uso de material genético adaptado a condiciones de variabilidad climática se pueda atenuar el riesgo de producción de alimentos frente al cambio climático y así reducir la vulnerabilidad de los sistemas alimentarios (Minhas et al. 2011; Haverkort & Verhagen 2008). A pesar de que la papa es un cultivo de mucha importancia, existen pocos estudios sobre la modelación de la papa en comparación a los cultivos de granos como los cereales (Cannavo et al. 2008). Es con este propósito que el presente trabajo rescata información sobre papa en Latinoamérica y se estructura una base de datos acerca de las investigaciones de modelación o crecimiento agronómico que puede contribuir para hacer análisis integrales de suelo-planta-clima y manejo mediante modelación a nivel local y regional. Asimismo, constituye información básica que puede ser utilizada en el futuro, a través de la plataforma BIOMA Spatial para LA de EUROCLIMA, o por otra entidad que requiera acceder a la misma.

2. El estado del arte de la modelación de la papa en Latinoamérica

La mayor parte de trabajos sobre modelación de papa en Latinoamérica (LA) fueron realizados para la calibración y la validación de modelos de simulación para las variedades locales cultivadas en cada uno de los países. El modelo SUBSTOR (IBSNAT 1993) fue utilizado en varios países para la calibración de los coeficientes genéticos de las variedades usadas en cada sitio frente a aplicaciones de riego y nitrógeno (Travasso et al. 1996; Bowen 2000; Sarmiento & Bowen 2002); el modelo AQUACROP (Steduto et al. 2009) fue empleado para evaluar el efecto de la sequía en variedades de papa y determinar el impacto y las necesidades de riego para el cultivo (Montoya et al. 2015 y García et al. 2006), y valorar el rendimiento potencial (de la Casa et al. 2013 y 2014); el modelo LINTUL fue utilizado para determinar el rendimiento potencial y la zonificación agroecológica a través de herramientas de Sistemas de Información Geográfica escala regional (Caldiz et al. 2001; Hijmans et al. 2003) y escala global (Van Keulen & Stol 1995); el modelo SOLANUM basado originalmente en LINTUL, fue diseñado para cuantificar el potencial genético de rendimiento de las principales especies de papa cultivada en los Andes (Condori et al. 2010), así como para cuantificar el impacto de las pérdidas por heladas (Hijmans et al. 2003; Condori et al. 2014). En estos estudios el análisis del comportamiento de variedades contrastantes es el más frecuente, además de las investigaciones sobre sequía y fertilización nitrogenada, y uno sobre cambio climático (Sanabria & Lhomme. 2013).

Otro grupo importante de trabajos en modelación son aquellos referidos a plagas y enfermedades que afectan a la papa. Por un lado, un gran esfuerzo se ha hecho acerca del estudio de la polilla de la papa como un complejo de tres especies (*Phthorimaea operculella*, *Tecia solanivora* y *Symmetrischema tangolias*) donde se demostró que la temperatura juega un rol determinante en el desarrollo del insecto (Dangles et al. 2008); la inclusión de otras variables como manejo de semilla además del efecto de la temperatura en sistemas complejos de producción sirven para predecir la dispersión y distribución de las especies de polilla (Crespo-Pérez et al. 2011); la

combinación de un modelo fisiológico de insectos con Sistemas de Información Geográfica (SIG) son capaces de predecir impactos futuros de presencia de la plaga debido al cambio climático representado espacialmente (Kroschel et al. 2013).

Estos modelos de plagas han sido desarrollados para cuantificar la presencia, la distribución y el impacto del daño de la polilla de la papa sobre la producción de papa. En cuanto a modelos desarrollados para enfermedades que afectan a la papa, uno de los más estudiados es el del tizón tardío (*Phytophthora infestans*) que puede ocasionar pérdidas importantes tanto en este continente como en otros ocasionando pérdidas económicas de hasta un 100% si no se aplica buen manejo en el sistema papero. El modelo de tizón tardío de papa predice la presencia y el impacto de la enfermedad sobre la papa, pero también recomienda acciones para un mejor control sanitario a través de la validación del modelo (Andrade-Piedra et al. 2005a; Andrade-Piedra et al. 2005b).

Los modelos de simulación pueden ayudar a determinar los impactos de la agricultura sobre el medioambiente. Un caso evidente es el estudio realizado sobre huella de carbono de la papa en sistemas de producción de altos insumos donde se usó el modelo LINTUL como estimador de rendimiento potencial (Sandaña & Kalazich 2015); otro estudio de análisis a nivel espacial utilizó el modelo SUBSTOR de DSSAT para hacer las estimaciones de producción de papa interactuando temporal y espacialmente con otros componentes del sistema de producción junto a varios cultivos donde el manejo del agua fue enfatizado en una cuenca (Soltani et al. 2013).

Varios de estos estudios se han hecho principalmente en el marco de investigación básica para mejorar la productividad de la papa y en pocos casos el uso de modelos se ha aplicado, en especial los ligados a sistemas de información geográfica, para planificación y toma de decisión a nivel político de manera indirecta por las instituciones que trabajan en desarrollo. Cabe remarcar que los experimentos desarrollados para modelación si bien han sido utilizados para la calibración de variedades locales se han orientado predominantemente para buscar la eficiencia de uso de nutrientes y del agua, debido a la variabilidad climática y a la sequía que se presenta con mayor frecuencia e intensidad en LA.

Los diferentes enfoques que sustentan los modelos AQUACROP, SOLANUM, SUBSTOR y LINTUL son apropiados según la aplicación a nivel de planta o a nivel de cuenca, de acuerdo a la escala espacial requerida. El modelo AQUACROP tiene un enfoque importante en el manejo del riego y está basado en la Eficiencia de Uso de Agua (EUA); SOLANUM está basado en Eficiencia de Uso de Radiación (EUR) y principalmente fue desarrollado para caracterizar y simular genotipos altamente contrastantes de los Andes y simular los impactos de heladas y sequía; SUBSTOR está basado en EUR y simula principalmente genotipo, nitrógeno y agua. LINTUL, basado en EUR tiene la potencialidad de ser un modelo genérico (no solo papa), que se adapta para correr simulaciones en escalas de espacio extensas, como cuencas o a nivel global.

Los modelos AQUACROP, SOLANUM y SUBSTOR están disponibles a nivel de usuario; el modelo LINTUL está en formato de código para correrlo en aplicaciones de programación. Todos los modelos que se han estudiado para papa en LA son de acceso libre y pueden ser descargados desde internet (Ver enlaces de Descarga de Programas al final de Referencias Bibliográficas).

De lo descrito anteriormente, importantes investigaciones sobre modelos han sido estudiados en Latinoamérica y en diferentes componentes del sistema productivo de la papa según su zona, aunque todavía son escasos los estudios de largo plazo con enfoque específico de variabilidad y cambio climático (Raymundo et al. 2014). Se requiere la continuidad de estudios de modelación de la papa, en los componentes relacionados al manejo del agua, nutrición de la planta y control de plagas, con los cuales se podría desarrollar un sistema de soporte a la decisión para el manejo integrado del cultivo de la papa.

El desarrollo de sistemas o plataformas integrales de decisión requiere de la coordinación interinstitucional, como los servicios nacionales de agricultura, meteorología y planificación, que organicen desde la creación de políticas para ayudar a minimizar la vulnerabilidad de los sistemas agroalimentarios hasta el desarrollo de herramientas como modelos climáticos y de cultivos, los cuales deben ser validados

localmente, a los efectos de cuantificar el impacto del ambiente sobre los rendimientos.

En LA los modelos de papa, calibrados mayormente en zonas de altura pero aun escasos en zonas bajas, plantea un desafío en estas regiones debido al incremento de la temperatura ambiental, pero una oportunidad para desarrollar verdaderas plataformas de decisión técnica y soporte de políticas públicas para contribuir a la creciente demanda alimentaria en un contexto de variabilidad y cambio climático.

3. Métodos de levantamiento de la información

La búsqueda de trabajos sobre modelación de papa en Latinoamérica (LA) fue llevada a cabo a través de literatura publicada usando la base de datos internacionales de resúmenes en Science Direct, Google Scholar y Scielo. Las palabras clave como “Papa + modelación o simulación + País” y su correspondiente en inglés, fueron rastreados para todos los países de LA. En los casos donde no hubo resultados se cambió el sujeto de segundo orden de búsqueda por “crecimiento de cultivo”. Para algunos países donde el acceso a la información en línea estaba dificultado, se buscó el contacto directo con profesionales expertos en papa en los Institutos Nacionales de Investigación Agrícola y Universidades Nacionales.

De acuerdo a lo encontrado en las bases de datos de los buscadores y del contacto con expertos, podemos describir tres tipos de trabajos publicados, aquellos sometidos a revistas internacionales, revistas nacionales y tesis de grado en Universidades Nacionales. En base a los artículos encontrados, se tomó contacto con el primer autor de la investigación a través de una invitación del proyecto EUROCLIMA para consultar sobre: i) su interés de participar en esta recopilación, ii) procurar su acuerdo en proporcionar la cita bibliográfica completa, el artículo inextenso y en brindar acceso a los principales resultados de su investigación. En los casos en los que no hubo respuesta, se procedió a referenciar el trabajo publicado tal y como se encuentra en los buscadores de artículos científicos, los cuales se presentan en el acápite de Referencias bibliográficas del documento.

Solo se tomaron en cuenta las tesis de Ingeniería en los casos de Colombia y Ecuador, aunque por sugerencias de los expertos contactados en el taller de EUROCLIMA (Rodríguez Baide et. al., 2016), se sabe que existen varios trabajos de investigación en papa a nivel pregrado en las universidades nacionales, lo cual constituiría una fuente valiosa de información a futuro. Sin embargo, es necesario considerar su difícil acceso y posterior gestión de la información (autorización, consulta en bibliotecas y tabulación de datos), salvo que sea realizado a través de

una operación directa del experto local en cada país y con fondos específicos para esta labor.

En América Central y el Caribe, con excepción de Cuba, no se pudo identificar trabajos sobre crecimiento y modelación en papa que hayan sido publicados. Se identificó un estudio sobre la predicción fenológica del cultivo de papa mediante tiempo térmico en zonas productoras de papa en México (Flores-Magdaleno et al. 2014), pero a pesar del detalle del estudio en fenología, no contenía información periódica de crecimiento (área foliar y biomasa) ni rendimiento final, debido a esto no se lo consideró según el objetivo del presente estudio.

Los estudios sobre modelación o crecimiento de la papa a los cuales se pudo acceder para diez países de LA se muestran en la Tabla 1, que describe en general la información sobre el país donde se realizó la investigación, el autor principal, el título de la publicación y modelo empleado en el estudio. En el estudio de caso específico se presentará información más detallada acerca de las condiciones iniciales de los experimentos estudiados.

Tabla 1. Estudios sobre modelación del cultivo de papa en Latinoamérica por país, autor principal, título de la investigación y modelo de simulación empleado.

País	Autor Principal	Título de la publicación o artículo	Año	Modelo
Argentina	Antonio de la Casa	Eficiencia en el uso de la radiación en papa estimada a partir de la cobertura del follaje	2011	Agro
Bolivia	Bruno Condori	Quantifying the expression of potato genetic diversity in the high Andes through growth analysis and modeling	2010	Solanum
Brasil	Adalton M. Fernandes Rogério P. Soratto	Crescimento, acúmulo e distribuição de matéria seca em cultivares de batata na safra de inverno (2010	Agro
Colombia	Sandra Olarte	Validación del modelo de simulación Substor del programa DSSAT, en dos variedades nativas de papa <i>Solanum tuberosum</i> spp <i>andigena</i> variedad Tuquerreña y <i>Solanum phureja</i> variedad Yema de huevo	2000	Substor-DSSAT
Cuba	Eduardo Jerez Mompies	Comportamiento del crecimiento y el rendimiento de la variedad de papa (<i>Solanum tuberosum</i> L.) Spunta	2012	Agro
Ecuador	Neidy Clavijo	Validación del modelo de simulación del sistema DSSAT en el cultivo de papa (<i>Solanum tuberosum</i> , L.) en las condiciones del cantón Montúfar, provincia del Carchi	1999	Substor-DSSAT
Paraguay	Beatriz Gómez	Comportamiento agronómico de cultivares de papa en dos épocas de plantación en diferentes zonas de la Región Oriental del Paraguay	2011	Agro
Perú	Irene Trebejo	Effect of water stress on potato growth, yield and water use in a hot and a cool tropical climate	1990	RUE-WUE
Uruguay	Claudio García Francisco Vilaró	Irrigation management of potato plants in Uruguay (2006).	2006	Agro
Venezuela	Lina Sarmiento	Desarrollo de una variedad de papa <i>andigena</i> en los Andes venezolanos y su simulación por el modelo Substor	2002	Substor-DSSAT

Agro, estudio agronómico, es decir aquellos donde se midieron ciertas variables de crecimiento al final del ciclo del cultivo por lo que pueden utilizarse para validación, pero presentan limitaciones en su nivel de detalle para utilizarlos en calibración de modelos de crecimiento de cultivos.

4. Cobertura geográfica de los estudios de papa en Latinoamérica

La papa presenta una amplia distribución en América, desde el Sur de Estados Unidos hasta regiones del sur de Chile. A lo largo del continente presenta especies cultivadas y silvestres (Hawkes 1994; Hijmans & Spooner 2001), con una gran complejidad y diversidad en su composición genética (Machida-Hirano 2015). Los países con mayor producción (Tabla 2) son Perú, Brasil, Colombia y Argentina (FAOSTAT 2015) y los que presentan mayor diversidad en especies y variedades son Perú, Bolivia y Chile (Ochoa 1999; Garzón 2007). En un estudio sobre uso de suelos para Latinoamérica, se clasificó en suelos forestales, suelos con pastos y tierra agrícola arable (Gardi et al. 2014). Proporcionalmente los suelos forestales son más extensos que los de pastos y éstos más extensos que los agrícolas. De acuerdo a esto Perú, Bolivia, Chile y Colombia son los que más superficie agrícola utilizan para producir papa, entre un 2.0% y 6.2% de la superficie agrícola total. El resto de países ocupan superficies menores a 2% de su suelo agrícola para producir papa, pero donde el volumen se mantiene elevado es en Brasil, Argentina y Uruguay, con producciones mayores a 110000 de toneladas métricas (TM) de producción anual, debido a sus elevados rendimientos mayores a las 22 t/ha (Tabla 2). En algunas regiones de Brasil, según la época de siembra (Mayo) los rendimientos pueden superar las 35 t/ha.

Tabla 2. Superficie de tierra agrícola nacional (%), superficie de papa en LA respecto al total agrícola (%), área (ha), rendimiento (t/ha) y producción anual de papa (TM) en Latinoamérica (Gardi et al. 2014; FAOSTAT 2015)

País	Tierra Agrícola (%)	Área papa/Total agrícola (%)	Área (ha)	Rendimiento (t/ha)	Producción (TM)
Argentina	12	0.2	69500	28.777	2000000
Bolivia	4	4.4	192277	5.768	1108994
Brasil	8	0.2	128056	27.752	3553772
Chile	2	3.3	49576	23.379	1159022
Colombia	5	2.0	114715	18.562	2129319
Cuba	38	0.1	4941	21.595	106700
Ecuador	10	1.8	47302	7.313	345922
Paraguay	10	0.01	237	14.768	3500
Perú	4	6.2	317132	14.413	4570673
Uruguay	25	0.1	5000	22.000	110000
Venezuela	4	1.0	35233	17.694	623399

La variabilidad de los rendimientos de papa por país estaría determinada por las características biofísicas y socioeconómicas propias de los sistemas productivos locales. Las investigaciones sobre modelación y crecimiento de la papa se presentan para los siguientes países: Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Cuba, Ecuador, Paraguay, Perú, Venezuela y Uruguay (Figura 1, Tabla 2). No se pudo acceder a información sobre experimentos de modelación específica de papa en Chile.

En la Figura 1, podemos apreciar a los 10 países donde se pudo acceder a información sobre modelación en papa. Según Monfreda et al. 2008, la tonalidad verde oscura representa un uso intensivo del suelo agrícola y la tonalidad verde clara un menor uso, sea por limitaciones climáticas o por estaciones con inviernos muy fríos y secos. Las zonas de intenso uso de suelo agrícola coincide con las zonas bajas, donde la papa podría potencialmente incorporarse como parte de la rotación de cultivos ya que en estas zonas se alcanzan intervalos de 90 días de duración de ciclos, aptos para variedades de ciclo corto. En cambio, las zonas con tonalidad clara donde se tiene un uso parcial o estacionario de suelo agrícola admiten solamente un ciclo de cultivo, en éstas se cultiva la papa con ciclo de más de 120 días, especialmente en las zonas de altura de los Andes.



Figura 1. Países donde se han desarrollado investigaciones sobre modelación o crecimiento de cultivo de papa en Latinoamérica (marcador rojo). El tono verde oscuro representa el uso intensivo del suelo durante todo el año (100%), en cambio el tono verde claro representa un uso parcial de suelo durante el año (30%), basado en Monfreda et al. 2008.

5. Sistemas de producción de papa en Latinoamérica

Los estudios identificados en los países de LA presentan un gran rango de condiciones ambientales, su ubicación geográfica va desde los 22.9 LN y -78.9 LO hasta los -34.7 LS y -49.13 LO, y desde los 19 hasta los 3430 msnm. Esta variada distribución geográfica y altitudinal, confiere características ambientales de gran contraste, sumado a la diversidad genética y de prácticas agrícolas locales generando agro-ecorregiones muy variadas.

Los sistemas de producción agrícola de la papa en LA son bastante diferenciados, pudiendo según la economía del lugar estar dentro de sistemas de alta o baja inversión. Los sistemas de **alta inversión** utilizan principalmente semilla de calidad, mecanización agrícola, aplican fertilizantes y hacen un control intensivo de plagas y enfermedades del cultivo; en cambio, los sistemas de **baja inversión** son aquellos que utilizan la semilla propia, es decir aquella que ha sido seleccionada en los mismos campos durante muchos años, cultivada utilizando labranza mínima o basada en tracción animal, reducido uso de fertilizantes minerales o priorizando el uso de enmiendas orgánicas provenientes de residuos de la ganadería, y además hacen un escaso uso de plaguicidas..

Los sistemas de producción están definidos básicamente de acuerdo a la vulnerabilidad de los agro-ecosistemas y a la disponibilidad de inversión económica, principalmente ésta última define la prioridad del tipo de producción de la papa, es decir, si la producción final del tubérculo irá directamente a la comercialización en supermercados o mercados formales, o bien se destinará al autoconsumo o a la venta en ferias locales. Tradicionalmente las zonas paperas, donde fue originado el cultivo de la papa, presentan una gran diversidad de especies y variedades cultivadas a lo largo de los Andes en zonas de alturas mayores a 2500 msnm desde Venezuela, Colombia y Ecuador, pero especialmente en la zona circunlacustre del lago Titicaca entre Perú y Bolivia a 3800 msnm. En estos sistemas de montaña, los agricultores utilizan su propia semilla proveniente de muchos años de conservación y selección.

La producción de esta diversidad de papas se refuerza con enmiendas orgánicas basadas en mezclas de estiércol bovino u ovino, y se realiza un escaso control de plagas y enfermedades. Consecuencia de este mínimo manejo y baja inversión a la producción, los rendimientos de tubérculo son bastante bajos (< 15 t/ha), con ciclos agrícolas mayores a los 150 días. En estas zonas la papa es el cultivo de cabecera seguido de otros tubérculos andinos. Esta riqueza en agro biodiversidad tiene un componente social y económico muy importante ya que su producción es baja pero diversa, aparte de ser la base alimentaria de la población, está asociada a usos y costumbres medicinales que las mujeres agricultoras conocen con mayor detalle. Estos aspectos son muy importantes en los medios de vida de los agricultores conservacionistas. De una manera diferente, en las zonas más bajas y de superficies más planas están a menos de los 2500 msnm, con ciclos agrícolas menores a los 150 días, donde la papa es parte de los cultivos del sistema, se la produce de una manera más tecnificada con suministro de insumos de alta productividad como semilla de calidad o certificada, fertilizantes y agroquímicos para el control de plagas y enfermedades en base a calendario fitosanitario recomendado por los Institutos Nacionales de Investigación Agrícola. Producto de este manejo más intenso y con mayor inversión, los rendimientos de papa son más elevados (> 15 t/ha).

Se debe remarcar que la producción comercial de papa está basada en pocas variedades mejoradas con alto rendimiento. En cambio, en las zonas de producción para autoconsumo la diversidad de especies y variedades es muy rica, pudiendo encontrarse inclusive más de 200 variedades en una parcela de agricultor (en 200 m²). Ambos sistemas enfatizan contrastantemente el capital económico y el capital recurso natural, respectivamente sobre los otros capitales. La cuantificación de la producción en estos sistemas es compleja debido a la interacción de la variabilidad ambiental (suelos y climas) y la variabilidad genética. Especialmente en sistemas diversos, los modelos de simulación son los más apropiados para la estimación de rendimientos a través del agrupamiento de especies en condiciones de manejo heterogéneo, aspectos preliminarmente analizados más adelante en base a los estudios de caso recopilados.

6. Análisis de caso de los estudios de modelación y agronómicos

Los estudios de papa realizados en LA a los que se ha podido acceder en este estudio, se presentan en este acápite. La base de datos se ha dividido en dos grupos grandes definidos según el objetivo del estudio y detalle de información. El primer grupo (Tabla 3) está conformado por los experimentos de modelación en cinco países (Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela), los cuales son los más detallados en cuanto a mediciones periódicas de biomasa, área foliar, tipo de suelos y clima; el segundo grupo (Tabla 4) está conformado por los experimentos de crecimiento agronómico en otros cinco países (Argentina, Brasil, Cuba, Paraguay y Uruguay), los que presentan información de rendimiento y parcialmente sobre las dinámicas de crecimiento. Los datos de suelos y clima, en algunos de estos experimentos, fueron completados con información secundaria.

Las Tablas 3 y 4 presentan información detallada de los experimentos, como: condiciones iniciales de los estudios en campo, localización geográfica, tipo de suelo, manejo del cultivo, y condiciones climáticas del lugar del estudio. El detalle de los datos se presenta en el Anexo I y estarán disponibles según el Acápite 9 referente a cómo utilizar y acesar la información.

De acuerdo a los datos de rendimientos finales de los experimentos en los 10 países considerados en este estudio, podemos observar una marcada variabilidad del rendimiento de tubérculos en fresco (Figura 2). De acuerdo a esta información no se evidencia ninguna relación de la influencia de la altitud sobre el rendimiento. En general la papa producida en zonas bajas presenta menor variabilidad que la producida a mayores alturas.

La diferencia de variabilidad puede deberse probablemente a que en las zonas bajas predomina la subespecie *tuberosum* con alta eficiencia productiva, por lo que los rendimientos son homogéneos; en cambio en las zonas de altura están cultivadas otras especies (*juzpeczukii*, *phureja*) y subespecie (*andigena*) cuya eficiencia productiva no es tan elevada como la primera, lo que reduce el promedio de rendimiento e incrementa la variabilidad. Esta tendencia puede explicarse principalmente por los rendimientos de altura, donde además se cultivan

tradicionalmente variedades locales de baja productividad pero con alta tolerancia a factores de estrés climático. La misma tendencia es expresada en las estadísticas nacionales de la FAO, donde los rendimientos más bajos están en las zonas de mayor altura (Figura 2).

Tabla 3. Información general de los experimentos de modelación: condiciones iniciales de los experimentos a campo, localización, categoría de suelo, manejo de cultivo y condiciones climáticas del lugar de experimentación.

Experimento	Bolivia	Colombia	Ecuador	Perú	Venezuela
Autor*	Condori B.	Olarte S.	Clavijo N.	Trebejo I.	Sarmiento L.
Año de la publicación	2010	2000	1999	1990	2002
Localidad	Toralapa	Cundinamarca	Montúfar	La Molina	Gavidia
Latitud	-17.517	4.420	0.6	-12°05	8.67
Longitud	-65.667	-74.130	-77.817	-73.000	-70.908
Altitud (msnm)	3430	3250	3160	240	3400
Suelos					
Tipo de suelo (USDA)	SaCL	SICL	SALO	SALO	SALO
Punto de Marchitez Permanente (%)	15.4	73	15.5	11.6	18.8
Capacidad de Campo (%)	27.2	80	28.0	24.0	35.9
Saturación (%)	44.6	90	36.9	35.2	41.7
Densidad aparente (g/cm3)	1.33	1.61	1.12	1.55	1.3
Manejo de cultivo					
Variedad	Waycha, Alpha, Chaska y Luki	Yema de huevo, Tuquerreña	María, Gabriela	DT033, LT1, Revolución	Arbolona
Especie o subespecie	<i>S.t.andigena</i> , <i>S.t.tuberosum</i> y <i>S. juzepczukii</i>	<i>S. phureja</i> , <i>andigena</i>	<i>tub x and</i> , <i>tub x and</i>	<i>tub x phu</i> , <i>tub x Neo</i> , <i>tub x and</i>	<i>andigena</i>
Densidad de plantas por ha	47619	33333, 50000	46700	46700	37400
Distancia entre surcos (cm)	70	100, 100	70	70	80
Distancia entre planta (cm)	30	30, 50	30	30	33
Fertilizante N-P-K (kg/ha)	80-160-0	226-426-256, 130-300-130	168-0-0, 117-0-0	160-160-160	32-0-0, 160-0-0
Ciclo de cultivo					
Fecha de siembra	22 oct 1993	20 sep 1999 13 jul 1999	15 feb 1985	30 ene 1985 25 jun 1985	1 abr 1992
Fecha de cosecha	13 abr 1994	28 ene 2000	29 ago 1985	24 may 1985, 18 oct 1985	22 oct 1992
Ciclo de cultivo (días)	173	130, 199	195	114, 115	204
Año del experimento	1993-1994	1999-2000	1985	1985	1992
Promedio de temperatura máxima anual (°C)	18.4	15.5	16.7	23.1	15.9
Promedio de temperatura mínima anual (°C)	4.4	7.4	7.0	15.7	6.1
Precipitación acumulada anual (mm)	535	687	913	3.7	274

* Primer autor, ver la lista completa de autores en Referencias; ** 1 FM, 2 G+F,3 P+F,4 G+P+F, fuentes de fertilización mineral y orgánica. Detalle en anexos; NA, No disponible. Híbrido *tuberosum* x *andigena* (*tub x and*); híbrido *tuberosum* x *phureja* (*tub x phu*); híbrido *tuberosum* x Neotuberosum (*tub x Neo*)

Tabla 4. Información general de los experimentos de crecimiento agronómico: condiciones iniciales de los experimentos a campo, localización, categoría de suelo, manejo de cultivo y condiciones climáticas del lugar de experimentación.

Experimento	Argentina	Brasil	Cuba	Paraguay	Uruguay
Autor*	de la Casa A.	Fernandes A.M.	Jerez E.	Gómez B.	García C.
Año de la publicación	2011	2010	2012	2011	2006
Localidad	Córdoba	Itai	S.J. de las Lajas	Caacupé	Libertad
Latitud	-31.500'	-23.467	22.990	-25.23	-34.716
Longitud	-64.013'	-49.133	-82.141	-57.11	-56.583
Altitud (msnm)	402	670	138	262	34
Suelos					
Tipo de suelo (USDA)	Limosa fina	Arcillosa	Arcillosa limosa	Franco Arenoso	Limosa
Punto de Marchitez Permanente %	14	34.8	19.7	20.0	24.8
Capacidad de Campo %	28	45.3	33.6	33.2	39.3
Densidad aparente g/cm ³	1.3	1.23	1.41	1.5	1.31
Manejo de cultivo					
Variedad	Spunta	Agata, Asterix, Atlantic, Markies y Mondial	Spunta	Ana, Eliza, Cristal, Agata, Cupido, Catucha, Villa Serrana y Spunta	Chieftain
Especie o subespecie	<i>Tuberosum</i>	<i>Tuberosum</i>	<i>Tuberosum</i>	<i>Tuberosum</i>	<i>Tuberosum</i>
Densidad de plantas por ha	100000, 50000, 20000	35714	37037	31250	50000
Distancia entre surcos (cm)	70	80	90	80	80
Distancia entre planta (cm)	14, 28, 50	35	30	40	25
Fertilizante N-P-K (kg/ha)	92-60-11	129-280-213	306-194-253	120-150-45	112-184-0
Ciclo de cultivo					
Fecha de siembra	12 feb 2008	8 jun 2008	Ene 2009, Ene 2010	mar 2011, jul 2011	Mar 2002 Abr 2003
Fecha de emergencia	26 feb 2008	27 jun 2008	29 ene 2009, 23 ene 2010	10 mar 2011, 10 jul 2011	NA
Fecha de cosecha	14 may 2008	8 oct 2008	mar 2009, abr 2010	jul 2011, nov 2011	NA
Ciclo de cultivo (días)	92	122	82 y 105	100 - 120	NA
Año del experimento	2008	2008	2009 y 2010	2011	2002 y 2003
Promedio de temperatura máxima anual (°C)	25.0	27.1	26.3 y 28.3	27.5	20.8 y 21.5
Promedio de temperatura mínima anual (°C)	10.6	15.1	25.0 y 24.8	17.0	14.0 y 13.5
Precipitación acumulada anual (mm)	671	1353	1171 y 1197	1658	1765 y 1475

* Primer autor, ver la lista completa de autores en Referencias; los valores en **negrita**, provienen de fuente secundaria presentada por NASA (ver cita en agradecimientos) y USDA (Saxton & Rawls 2006); NA, no disponible.

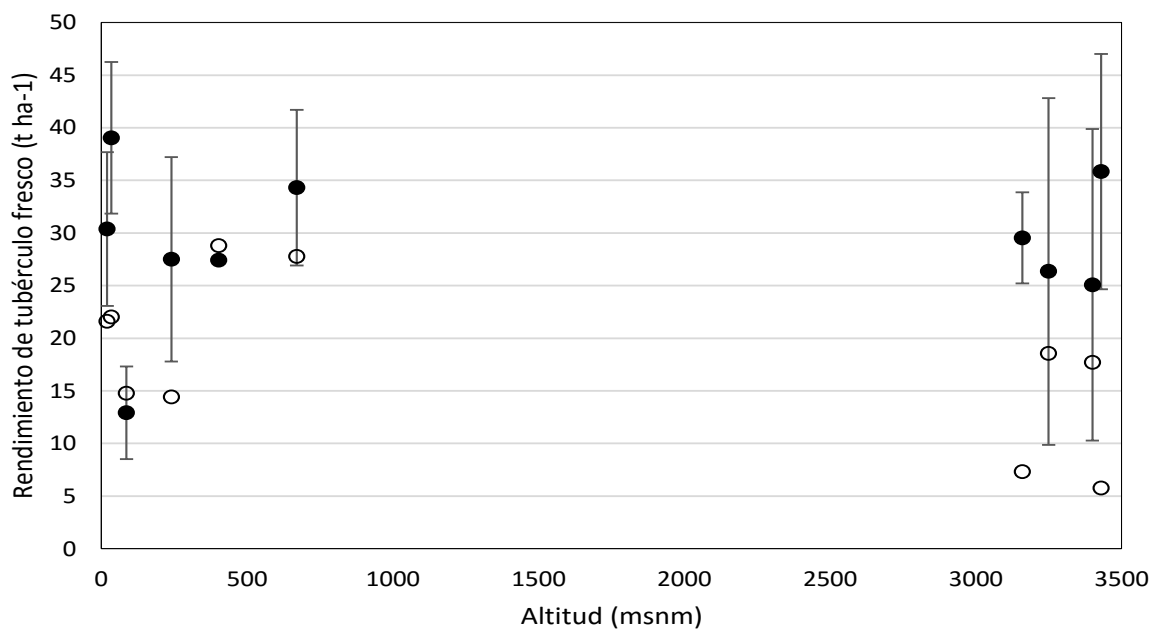


Figura 2. Distribución del rendimiento de tubérculo en fresco ($t\ ha^{-1}$) por la altitud (msnm). En círculos negros los rendimientos promedio de los experimentos con su desvío estándar (cuando está disponible). En círculos blancos los rendimientos promedio reportados por FAOSTAT 2015.

De acuerdo a la tabla y figura anterior, los ciclos de cultivo de la papa en las zonas bajas son más cortas que en las zonas de altura. Esto está definido principalmente por la temperatura ambiental en cada zona de producción, así en las zonas de altura hay menor temperatura promedio durante el ciclo de cultivo que en las zonas bajas, razón por la cual también los ciclos de cultivo son más largos. Es muy probable que con un adecuado genotipo y con intenso manejo en las zonas bajas, a pesar de un periodo de cultivo más corto ($< a\ 150$ días), explica la mayor producción obtenida; en cambio en las zonas de altura con diversidad de genotipos además de un manejo menos intenso, a pesar de la mayor duración de cultivo ($> a\ 150$ días), los rendimientos esperados no son tan elevados como en las zonas bajas.

7. Índices agro-fisiológicos: crecimiento de área foliar, materia seca e índice de cosecha

Todos los estudios **agronómicos** y de **modelación** (Tabla 1) están presentados en detalle en la base de datos digital del Anexo. Cinco experimentos fueron seleccionados para mostrar la diversidad de información sobre el crecimiento y la producción de papa para fines de modelación en LA. Entre estos están los estudios en Bolivia, Brasil, Colombia, Perú y Venezuela. En las siguientes figuras mostramos tres variables dinámicas de cultivo: el índice de área foliar (m^2/m^2) o LAI, la acumulación de biomasa seca total (kg/ha) o BST y el índice cosecha dinámica o medida a través del tiempo (m^2/m^2) o IC. El índice de área foliar muestra la relación de superficie foliar (m^2) en una misma superficie de suelo (m^2). El índice de cosecha fue calculado en base al peso seco de tubérculos dividido sobre el peso seco total de la planta multiplicada por 100, siendo realizado en cada cosecha de biomasa, es denominado dinámico. En el caso de Brasil solo se muestra el peso seco de hojas en lugar del índice de área foliar.

El estudio en **Bolivia** presenta el crecimiento de cuatro variedades contrastantes de tres especies, en éste se puede apreciar diferentes tendencias de crecimiento de papa (Figura 3). Las variedades Waycha y Chaska son papas de amplia difusión en el mercado boliviano, en especial la primera. Estas variedades presentan un mayor índice de área foliar y acumulan más biomasa, contrastantemente, la variedad Alpha tiene un índice de área foliar pequeño, pero logra alcanzar una gran cantidad de biomasa, esto puede deberse a la alta eficiencia en el uso de la radiación (EUR) propia de esta variedad perteneciente a la especie *tuberosum*.

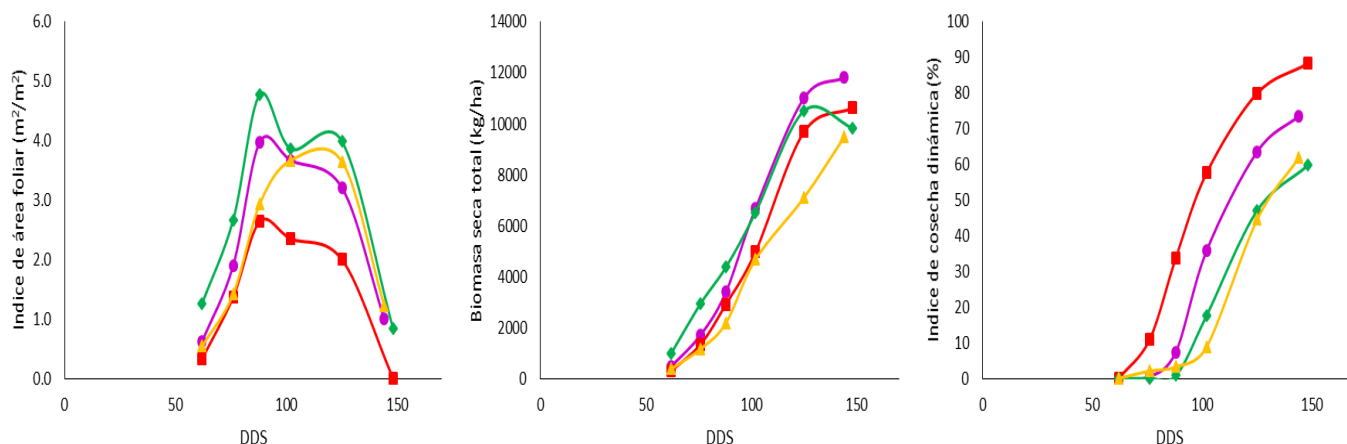


Figura 3. Bolivia: Dinámica de crecimiento del Índice de área foliar (m^2/m^2), Biomasa seca total (kg/ha) e Índice de cosecha dinámica (%). En círculos la variedad Waycha de la subespecie *andigena*; en cuadrados la variedad Alpha de la especie *tuberosum*; en rombos la variedad Chaska de la subespecie *andigena*; y en triángulos la variedad Luki de la especie *juzepczukii*. DDS: Días después de la Siembra (adaptado de Condori et al. 2010).

Observando la dinámica de translocación de biomasa hacia el tubérculo representado por el IC dinámico, las variedades presentan diferentes tiempos de inicio de tuberización y diferentes valores de máximo IC, en el caso particular de Alpha es la más temprana y a la vez la más productiva con mayor IC al final del ciclo de cultivo (Figura 3). En cuanto a la variedad Luki, si bien es la menos eficiente para acumular biomasa debido a su bajo índice de área foliar y baja productividad debido a su bajo IC, se la considera estratégica en los sistemas de gran altura porque es tolerante a las heladas y sequía que ocurren regularmente en los Andes, esto es un atributo propio de las papas de la especie *juzepczukii*.

Estos contrastes en el comportamiento del material genético en la zona andina de Bolivia y Perú, juegan un rol importante en la aplicación de medidas de adaptación local, que el agricultor realiza de manera espontánea accediendo a cultivar más de tres o cuatro variedades para evitar al estrés por sequía o las heladas, fenómenos que han cambiado en su intensidad, frecuencia y periodo de ocurrencia en la zona de gran altitud.

El cultivo de la papa en zonas tropicales y bajas como el caso de **Brasil**, presenta condiciones diferentes a las de altura con temperaturas promedio más elevadas y con el desarrollo de variedades de la especie *tuberosum* que se adaptan a este ambiente. En el estudio que se muestra en el presente trabajo, se ha descrito detalladamente su crecimiento a través de 11 cosechas intermedias consecutivas (Figura 4).

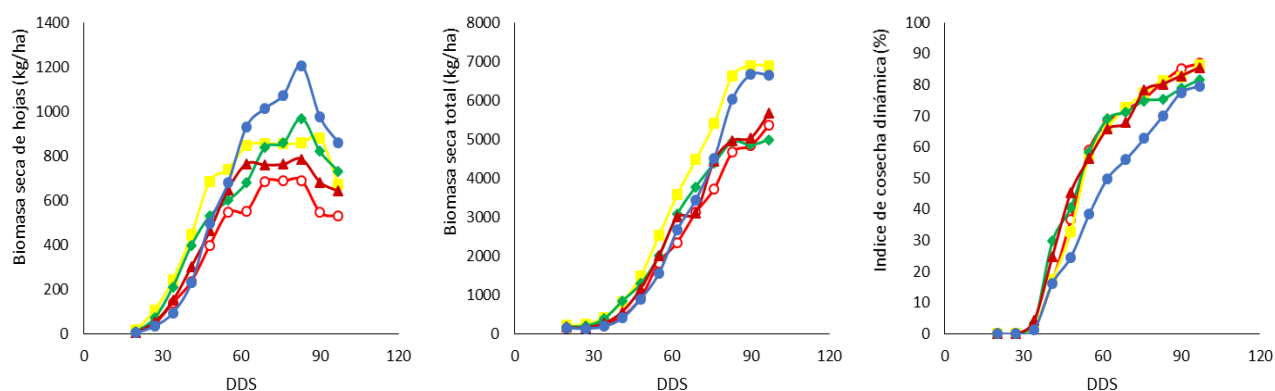


Figura 4. Brasil: Dinámica de crecimiento de la Biomasa seca de hojas (kg/ha), Biomasa seca total (kg/ha) e Índice de cosecha dinámica (%). En círculos vacíos la variedad Agata; en cuadrados la variedad Asterix; en rombos la variedad Atlantic; en triángulos la variedad Markies; y en círculos llenos la variedad Mondial. DDS: Días después de la siembra (adaptado de: Fernandes et al. 2010).

Las variedades utilizadas en las zonas bajas tienen mayormente carga genotípica de la especie *tuberosum*. Del grupo de variedades del estudio en Brasil (Figura 4), destacan claramente Asterix y Mondial por su productividad, con elevados índices de área foliar (señalado por la biomasa foliar) y biomasa total probablemente por una mayor eficiencia del uso de radiación. En cuanto a precocidad mostrada por el IC, el inicio de tuberización no muestra diferencias entre las variedades y todas alcanzan valores máximos de índice de cosecha mayores al 80%. Este grupo de variedades son potencialmente los más aptos para producirse en zonas bajas y en sistemas de producción de alta inversión donde debido al corto ciclo agrícola (menor a 100 días),

se requiere óptimas cantidades de nutrientes y agua, y un buen control fitosanitario para asegurar una buena producción.

En **Colombia** se ha estudiado el comportamiento de dos materiales, la variedad Turrequeña, de la subespecie *andigena* y la variedad Yema de huevo de la especie *phureja*, ambas de gran contraste por su duración de ciclo, diferente índice de área foliar y diferente acumulación de materia seca, aunque presentan el índice de cosecha similar en su valor máximo (> 70%). Un alto contraste está definido por la precocidad de *phureja* (menor a 120 días) en comparación a la variedad *andigena* (mayor a 180 días) ambas en zonas de altura (Figura 5). Aquí se puede apreciar a ambas variedades con un comportamiento diferenciado por su genética ya que ambas han sido cultivadas en el mismo ambiente.

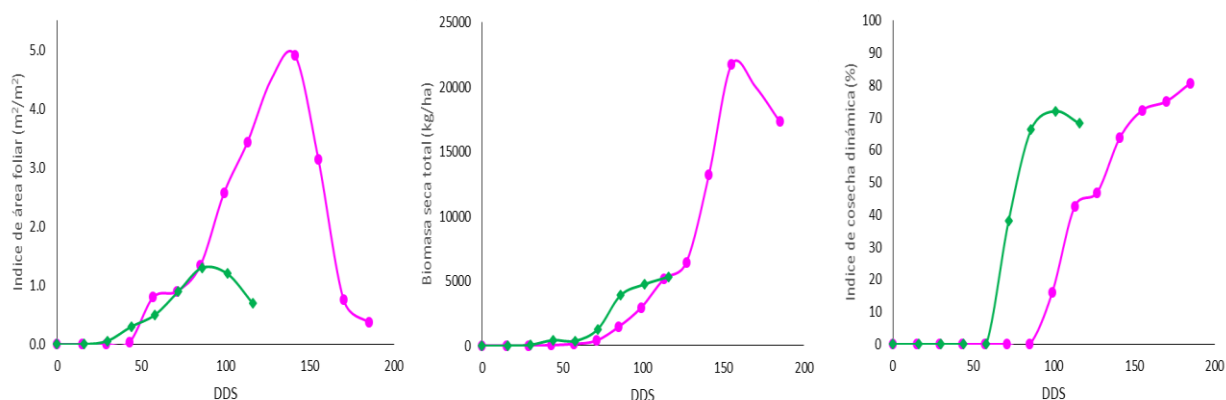


Figura 5. Colombia: Dinámica de crecimiento del Índice de área foliar (m^2/m^2), Biomasa seca total (kg/ha) e Índice de cosecha dinámica (%). En círculos la variedad Turrequeña de la subespecie *andigena*; y en rombos la variedad Yema de huevo de la especie *phureja*. DDS: Días después de la Siembra. (adaptado de: Olarte 2000).

El estudio realizado en **Perú**, muestra cómo es la dinámica de crecimiento de la papa a nivel de costa en diferentes estaciones de cultivo (verano e invierno) para la variedad Revolución (Figura 6). En ésta podemos advertir que el cultivo en verano tiene una corta duración con un elevado índice de área foliar, pero una reducida biomasa e IC en comparación a la siembra en invierno, en la cual se prolonga un poco más su ciclo,

y aunque con un índice de área foliar menor puede acumular mayor biomasa total y mayor índice de cosecha que en verano. Esta tendencia puede ser explicada por la temperatura promedio que es elevada en verano la cual no favorece al llenado de tubérculos como lo representa su índice de cosecha (menor a 55%).

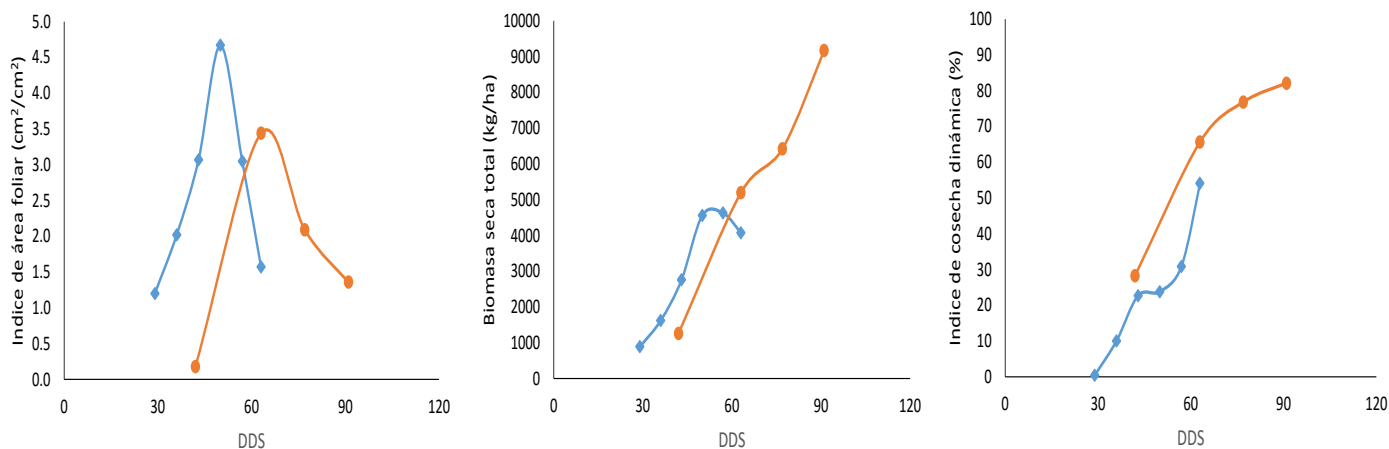


Figura 6. Perú: Dinámica de crecimiento del Índice de área foliar (m^2/m^2), Biomasa seca total (kg/ha) e Índice de cosecha dinámica (%). En rombos la variedad Revolución en verano; y en círculos la variedad Revolución en invierno. DDS: Días después de la Siembra (adaptado de: Trebejo & Midmore 1990).

En el estudio de papa de **Venezuela**, se presenta una investigación comparando características de baja y alta fertilización en la variedad Arbolona (Figura 7). Las mejores respuestas a una mayor fertilización están definidas por un mayor desarrollo de área foliar y una mayor acumulación de biomasa seca (200% mayor respecto a la de menor fertilización), no se observan diferencias para el IC, lo que confirma la

robustez de esta variable cuando se trabaja con una misma variedad pero con condiciones diferenciadas.

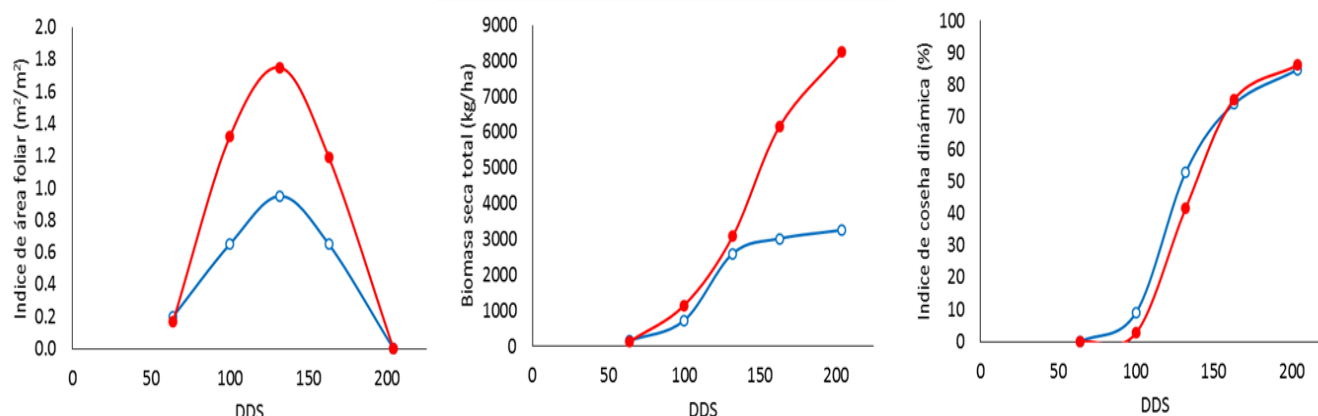


Figura 7. Venezuela: Dinámica de crecimiento del Índice de área foliar (m^2/m^2), Biomasa seca total (kg/ha) e Índice de cosecha dinámica (%). En círculos llenos y vacíos, la respuesta a una alta y una baja fertilización, respectivamente. DDS: Días después de la Siembra (adaptado de: Sarmiento 2002).

En general, viendo las anteriores figuras, podemos indicar que un mayor desarrollo del área foliar se traducirá en más cantidad de biomasa total, lo que es más evidente aun cuando la variedad tiene una mayor eficiencia de uso de radiación. Si a esto agregamos un alto índice de cosecha, podemos esperar potencialmente que los rendimientos de los tubérculos sean elevados cuando se provea un manejo adecuado del cultivo.

El ciclo de duración del cultivo y el tiempo de inicio de la formación de tubérculos están definidos por el genotipo de la variedad y altamente influenciado por la temperatura, la cual está definida por la altura en cada zona de producción. Dichos efectos se ven con los resultados de los estudio de zonas bajas (Brasil), donde el inicio de tuberización ocurre a los 35 días después de la siembra y en zonas de altura (Bolivia, Colombia y Venezuela) sobre los 90 días después de la siembra.

En los estudios **agronómicos**, en **Argentina** se ha cuantificado en detalle la eficiencia de uso de la radiación a partir de la cobertura de follaje (de la Casa et al. 2011). Otros estudios complementarios sobre la estimación de radiación solar y la predicción de rendimiento a partir de la cobertura foliar están disponibles en de la Casa et al. 2003 y 2012. En **Cuba** se estudió el crecimiento de la variedad Spunta durante dos ciclos consecutivos de producción (Jerez & Martín 2012). En **Paraguay** se evaluó el comportamiento agronómico de las variedades Eliza, Ágata, Cupido, Catucha, Ana y Cristal en dos épocas y en diferentes zonas de producción en la región Oriental de Paraguay (Gómez y Huespe 2011). En **Uruguay** se estudió detalladamente el manejo de la irrigación de papa en condiciones locales (García et al. 2006), complementado con otros estudios sobre parámetros fisiológicos y modelación (García et al. 2008a; 2008b; Montoya et al. 2015).

8. Conclusiones generales

Un fuerte impulso a las investigaciones sobre modelación en papa se hizo desde la cooperación internacional como el Centro Internacional de la Papa (CIP) en Perú, el Instituto Francés de Investigación para el Desarrollo (IRD) en Francia, los institutos nacionales de investigación agrícola en la región latinoamericana, en tanto las universidades nacionales fueron las que tomaron parte de estas investigaciones como actores locales.

Los estudios de modelación de papa para Latinoamérica se reportan desde el año 1996 en Argentina (Travasso et al. 1996). Los principales estudios se han llevado a cabo para estudios específicos sobre la calibración y validación de un modelo para las variedades cultivadas en la región con la finalidad de mejorar los rendimientos del cultivo basado en manejo de la fertilización, uso de variedades eficientes, variedades resistentes a la sequía y el impacto de plagas y enfermedades de la papa.

Si consideramos la diversidad de ambientes en que el cultivo existe en LA, pocos estudios fueron desarrollados basados en modelación de la papa para lograr una mejor cobertura espacial de simulaciones de este cultivo. Tal carencia de estudios de este tipo es una de las causas por las que la incidencia en formulación de política pública o mejora de toma de decisión política a nivel regional se encuentra todavía pendiente.

La herramienta de modelación de los cultivos de papa se presenta como una gran herramienta frente a la diversidad de sistemas de producción contrastante en Latinoamérica, especialmente por la diversidad de papa cultivada en zonas de altura, desde el cual se puede poner en perspectiva como componente de adaptación el uso de la diversidad varietal en papa. Como ejemplo, la estrategia de diversificar el genotipo es usado actualmente por los agricultores de la zona Andina, donde se cultivan cantidad de variedades que pueden tolerar, escapar o evitar los eventos climáticos extremos (helada, sequía o granizo).

El desarrollo de una plataforma para la toma de decisión destinada a un manejo eficiente de un cultivo, requiere ser desarrollado desde el ámbito local hasta el regional, tomando en cuenta la información histórica de clima y de experimentos de simulación de cultivos que forman parte de la actividad agrícola de cada país.

La base de datos propuesta muestra una gran riqueza de condiciones ambientales así como de material genético contrastante que puede ser utilizado para alimentar plataformas de modelación para la mejor toma de decisiones en un contexto de variabilidad y cambio climático.

Iniciativas como las desarrolladas por EUROCLIMA y AGMIP-LAC (Rodríguez Baide et. al., 2016) en LA pueden contribuir a cumplir el cometido anterior dado su consistencia en la provisión de metodologías y herramientas desarrolladas para hacer un uso más eficiente de la información y el conocimiento generado para la producción papera en Latinoamérica.

9. Cómo acceder y utilizar la información

El uso de la información del presente documento y base de datos asociada está permitido citando concretamente este reporte y los artículos relacionados a la investigación específica en cada país. Se podrá acceder a la información en detalle previo acuerdo con los autores de las investigaciones requeridas.

Procedimiento para solicitud de información y datos en detalle:

1. Contacte al autor de los trabajos experimentales. Consulte el listado en detalle de los contactos para los investigadores que está en el Acápite 10. En su comunicación con los autores incluya los datos del solicitante y manifiesto de uso e interés como se detalla a continuación:

Su nombre completo e información de contacto (email, teléfono, dirección)

Institución a la que está afiliado

Medio por el cual encontró la publicación

Razón por la que está interesado en obtener los datos o información

El tipo de uso (educación, investigación, política pública) y descripción específica del mismo para el que se solicita; provea alguna información del contexto y los objetivos de los trabajos a realizar con dicha información, así como detalles en cuanto a otros colaboradores involucrados.

Información adicional que interesaría obtener de los autores de los trabajos experimentales (contactos locales, información de variedades, estadísticas nacionales, zonas de producción, etc.)

En caso de haberlo, especifique si tiene interés de colaboración con el autor de los trabajos experimentales o los autores de este reporte y el tipo de apoyo que le gustaría obtener.

2. Envíe la respuesta y aprobación del autor de los trabajos experimentales, junto con los datos del solicitante y manifiesto de uso e interés, así como cualquier otro detalle o inquietud, al equipo de JRC a cargo de la colección y organización de los datos dentro de la Unidad de Seguridad Alimentaria. Envíe la solicitud vía correo electrónico usando **“EUROCLIMA-2-Agri4cast group: Data request”** en el título del correo electrónico a la dirección: agri4cast-portal@jrc.ec.europa.eu, alternativamente a: info-agri4cast@jrc.ec.europa.eu, o a la dirección: Jrc-Info@ec.europa.eu.
3. Al recibo de la información anterior, enseguida recibirá un link de acceso a la información y datos requeridos, así como las instrucciones de uso.

10. Científicos e instituciones colaboradoras

A continuación, se presentan las ubicaciones institucionales de los investigadores cuando se publicó el estudio y la ubicación institucional actual dados los cambios de pertenencia institucional del investigador, según el caso.

Los autores del presente listado están dispuestos a compartir información adicional a los datos experimentales citados en este reporte; en el caso que ésta sea requerida como: contactos, estadísticas nacionales, zonas de producción, variedades y mercado de la papa en cada país, plantearlo directamente al autor de los trabajos experimentales.

ARGENTINA

Antonio de la Casa

Ubicación actual: Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Agropecuarias. CC 509, 5000 Córdoba, Argentina.

Correo electrónico: delacasa@agro.unc.edu.ar

BOLIVIA

Bruno Condori Ali

Ubicación anterior: Fundación PROINPA y Centro Internacional de la Papa.

Ubicación actual: United States Department of Agriculture- Agricultural Research Service. MD, USA.

Correo electrónico: bruno.condori@ars.usda.gov, bcondori@yahoo.com

BRASIL

Fernandes, Adalton Mazetti

Ubicación actual: Universidade Estadual Paulista, Centro de Raízes e Amidos Tropicais, Campus de Botucatu, Caixa Postal 237, CEP 18603-970 Botucatu, São Paulo, Brasil.

Correo electrónico: adalton@cerat.unesp.br

Soratto, Rogério Peres

Ubicación actual: Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Campus de Botucatu, Caixa Postal 237, CEP 18603-970 Botucatu, São Paulo, Brasil.

Correo electrónico: soratto@fca.unesp.br

COLOMBIA

Sandra Milena Olarte Mantilla

Ubicación anterior: Universidad Nacional de Colombia.

Ubicación actual: University of Adelaide

Correo electrónico: sandra.olartemantilla@adelaide.edu.au

CUBA

Eduardo Jerez Mompies

Ubicación actual: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), gaveta postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32 700.

Correo electrónico: ejerez@inca.edu.cu

ECUADOR

Neidy Lorena Clavijo Ponce

Ubicación anterior: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Recursos Naturales. Ecuador

Ubicación actual: Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.

Transversal 4ta. No. 42-00.

Correo electrónico: n.clavijo@javeriana.edu.co

PARAGUAY

Diego Rodriguez y Beatriz Gómez Benitez

Ubicación actual: Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria (IPTA). Centro de Investigación Hernando Bertoni (CIHB), Caacupé, Paraguay.

Correos electrónicos: D. Rodriguez roddieg@gmail.com y B. Gómez betygobe@hotmail.com

PERU

Irene Trebejo

Ubicación anterior: International Potato Center (Tesisista), PO Box 5969, Lima, Perú.

Ubicación actual: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. Lima, Perú.

Correo electrónico: itrebejo@senamhi.gob.pe

URUGUAY

Francisco Vilaro y Claudio García

Ubicación actual: Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Uruguay.

Correo electrónico: fvilaro@inia.org.uy; cgarcia@inia.org.uy

VENEZUELA

Lina Sarmiento

Ubicación actual: Universidad de Los Andes, Mérida. Venezuela.

Correo electrónico: lsarmien@ula.ve, linasarmi@gmail.com

11. Referencias bibliográficas

- Andrade-Piedra, J.L., Hijmans, R.J., Forbes, G.A., Fry, W.E., and Nelson, R.J. 2005a. Simulation of Potato Late Blight in the Andes. I: Modification and Parameterization of the LATEBLIGHT Model. *Phytopathology*, 95(10), pp.1191–9. Available at: <http://apsjournals.apsnet.org/doi/abs/10.1094/PHYTO-95-1191> [Accessed January 3, 2016].
- Andrade-Piedra, J.L., Hijmans, R.J., Juárez, H.S., Forbes, G.A., Shtienberg, D., and Fry, W.E. 2005. Simulation of Potato Late Blight in the Andes. II: Validation of the LATEBLIGHT Model. *Phytopathology* (2005) Volume: 95, Issue: 10, Pages: 1200-1208.
- Bowen, 2000. La simulación del crecimiento de la papa en los Andes. In IV Simposio internacional de desarrollo sustentable. pp. 1–12.
- Caldiz, D.O.; F.J. Gaspari; A.J. Haverkort and P.C. Struik, 2001. Agro-ecological zoning and potential yield of single or double cropping of potato in Argentina. *Agric. For. Meteorol.* 109:311-320.
- Cannavo, P., Recous, S., Parnaudeau, V., and Reau R. 2008. Modeling N Dynamics to Assess Environmental Impacts of Cropped Soils. *Advances in Agronomy*, 97(07), pp.131–174.
- Condori, B., Hijmans, R.J., Quiroz, R., Ledent, J.F. 2010. Quantifying the expression of potato genetic diversity in the high Andes through growth analysis and modeling. *Field Crops Research*, 119(1), pp.135–144.
- Condori, B., Hijmans, R.J., Ledent, J.F., and Quiroz, R. 2014. Managing potato biodiversity to cope with frost risk in the high Andes: A modeling perspective. *PLoS ONE*, 9(1), pp.1–11.
- Clavijo, N.L. 1999. Validación del modelo de simulación del sistema DSSAT en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L) en las condiciones del Cantón Montúfar, Provincia del Carchi. Tesis de Ingeniería Agronómica. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo. Facultad de Recursos Naturales. Riobamba, Ecuador.
- Crespo-Pérez, V., Rebaudo, F., Silvain J.-F., and Dangles, O. 2011. Modeling invasive species spread in complex landscapes: the case of potato moth in Ecuador. *Landscape Ecology*, 26(10), pp.1447–1461. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s10980-011-9649-4> [Accessed January 3, 2016].
- Dangles, O., Carpio, C., Barragan, A. R., Zeddami, J.-L., and Silvain, J.-F. 2008. Temperature As a Key Driver of Ecological Sorting. *Ecological Applications*, 18(7), pp.1795–1809.
- Devaux, A., Kromann, P. & Ortiz, O., 2014. Potatoes for Sustainable Global Food Security. *Potato Research*, 57(3-4), pp.185–199. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s11540-014-9265-1>.

- de la Casa, A.; G. Ovando y Á. Rodríguez, 2003. Estimación de la radiación solar global en la provincia de Córdoba, Argentina, y su empleo en un modelo de rendimiento potencial de papa. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (INTA)*, 32(2):45-62.
- de la Casa, A.; G. Ovando; L. Bressanini; J. Martínez y Á. Rodríguez, 2011. Eficiencia en el uso de la radiación en papa estimada a partir de la cobertura del follaje. *AGRISCIENTIA*, XXVIII(1):21-30.
- de la Casa, A.; G. Ovando; L. Bressanini; J. Martínez y Á. Rodríguez, 2012. Predicción de la variabilidad del rendimiento de papa a partir de la cobertura del follaje. *AGRISCIENTIA*, XXIX(1):15-24.
- de la Casa, A.; G. Ovando; L. Bressanini and J. Martínez, 2013. Aquacrop model calibration in potato and its use to estimate yield variability under field conditions. *Atmospheric and Climate Sciences*, 2013(3):397-407.
- de la Casa, A.; G. Ovando, L. Bressanini y J. Martínez. 2014. Estimación del rendimiento potencial de papa en Córdoba, Argentina, a partir de la eficiencia en el uso de la radiación y de la productividad del agua. *AGRISCIENTIA XXXI* (2):75-91.
- FAOSTAT, 2015. Potato yield and production in LA. FAO, Rome. Available at: <http://www.faostat.fao.org> [Accessed December 19, 2015].
- Fernandes, A.M., Soratto, R.P., Silva, B.L., e Souza-Schlick, G.D. 2010. Crescimento, acúmulo e distribuição de matéria seca em cultivares de batata na safra de inverno. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45(8), pp.826-835.
- Flores-Magdaleno, H., Flores-Gallardo, H., Ojeda-Bustamante, W. 2014. Predicción fenológica del cultivo de papa mediante tiempo térmico. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 37 (2): 149 - 157, 2014.
- García, C.; Carlesso, R.; Vilaró F.; Docampo, R. 2006. Irrigation management of potato plants in Uruguay. Irrigation management of potato plants in Uruguay. In: Annual International Meeting. July 9-12 Portland, Oregon, USA, 2006.
- García, C.; Vilaró F.; Casanova, S.; Carlesso, R. 2008a. Evaluación de parámetros fisiológicos y la productividad de dos variedades de papa bajo diferentes regímenes hídricos. In: XXIII Congreso de la Asociación Latinoamericana de la papa, 2008, Mar Del Plata, Argentina. XXIII Congreso de la asociación latinoamericana de la papa. Mar del Plata: Memorias, 2008. v. 1. p.129-130.
- García, C.; Vilaró, F.; Carlesso, R.; Docampo, R. 2008b. Manejo del riego en el cultivo de papa en Uruguay. In: XXIII Congreso de la Asociación Latinoamericana de la papa, 2008, MAR DEL PLATA, ARGENTINA. XXIII Congreso de la asociación latinoamericana de la papa. Mar del Plata: MEMORIAS, 2008. v. 1. p.127-128.
- Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A., Jones, A., Krasilnikov, P., Mendonça Santos Brefin, M.L., Montanarella, L., Muñoz Ugarte, O., Schad, P., Vara Rodríguez, M.I., Vargas, R. (eds), 2014. Atlas

de suelos de América Latina y el Caribe, Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, L-2995 Luxembourg, 176 pp

- Garzón, F.J.M., 2007. Sociedades precolombinas asociadas a la domesticación y cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*) en Sudamérica. Revista Latinoamericana de la Papa, 14(1), pp.1–9.
- Gómez, B. & Huespe C.A. 2011. Comportamiento agronómico de cultivares de papa en dos épocas de plantación en diferentes zonas de la Región Oriental del Paraguay. Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria (IPTA). Centro de Investigación Hernando Bertoni (CIHB). Caacupé, Paraguay.
- Haverkort, A.J. & Verhagen, A., 2008. Climate Change and Its Repercussions for the Potato Supply Chain. Potato Research, 51(3-4), pp.223–237. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s11540-008-9107-0> [Accessed February 28, 2016].
- Hawkes, J.G., 1988. The evolution of cultivated potatoes and their tuber-bearing wild relatives. Die Kulturpflanze. March 1988, Volume 36, Issue 1, pp 189-208.
- Hawkes, J.G. 1994. Origins of cultivated potatoes and species relationships. In Bradshaw, J.E. & Mackay, G.R. Potato genetics. Pages: 3-42. Available at: <http://www.cabdirect.org/abstracts/19941608361.html;jsessionid=8DED2A5E04BCC3B6A10BB1D24843951C> [Accessed November 28, 2015].
- Hijmans, R.J. & Spooner, D.M., 2001. Geographic distribution of wild potato species. American journal of botany, 88(11), pp.2101–12. Available at: <http://www.amjbot.org/content/88/11/2101.abstract> [Accessed November 28, 2015].
- Hijmans, R.J.J., Condori, B., Carrillo, R. and Kropff, M.J. 2003. A quantitative and constraint-specific method to assess the potential impact of new agricultural technology: The case of frost resistant potato for the Altiplano (Peru and Bolivia). Agricultural Systems, 76(3), pp.895–911.
- Huamán, Z. & Spooner, D.M., 2002. Reclassification of landrace populations of cultivated potatoes (*Solanum* sect. Petota). American Journal of Botany, 89(6), pp.947–965.
- Hunt, L.A., Hoogenboom, G., Jones, J.W., and White, J.W. 2006. ICASA Version 1.0 Data Standards for Agricultural Research and Decision Support. (August), pp.1–37. International Consortium for Agricultural System Applications, P.O. Box 527, Honolulu, Hawaii. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/228646077>.
- IBSNAT. 1993. Research Report Series 02. A Simulation Model for Potato Growth and Development: SUBSTOR - Potato Version 2.0. Dept. of Agronomy and Soil Science, College of Tropical Agriculture and Human Resources, Univ. of Hawaii, Honolulu, HI, USA.
- Jerez, E. & Martín, R., 2012. Comportamiento del crecimiento y el rendimiento de la

- variedad de papa (*Solanum tuberosum* L.) Spunta. Revista Cultivos Tropicales, 33(4), pp.53–58.
- Kroschel, J., Sporleder, M., Tonnang, H. E Z, Juarez, H., Carhuapoma, P., Gonzales, J. C., Simon, R. 2013. Predicting climate-change-caused changes in global temperature on potato tuber moth *Phthorimaea operculella* (Zeller) distribution and abundance using phenology modeling and GIS mapping. *Agricultural and Forest Meteorology*, 170, pp.228–241. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192312002341> [Accessed November 27, 2015].
- Machida-Hirano, R. 2015. Diversity of potato genetic resources. *Breeding Science* 65: 26–40 (2015). doi:10.1270/jsbbs.65.26
- Minhas, J.S., Rawat, S., Govindakrishnan, P.M., and Kumar D. 2011. Possibilities of enhancing potato production in non-traditional areas. *Potato Journal*, 38(1), pp.14–17.
- Monfreda, Ch., Ramankutty, N., and Foley, J.A. 2008. Farming the planet: 2. Geographic distribution of crop areas, yields, physiological types, and net primary production in the year 2000. *Global Biogeochemical Cycles* (2008). Volume: 22, Issue: 1.
- Montoya, F.; Vilaró, F.; García, C., 2015. Assesment of AQUACROP model of potato crops under Uruguayan climate conditions. In: Abstract Book of 3rd Inter-Regional CIGR Conference on Land and Water Challenges “Tools for development” – Colonia, Uruguay – September 2015
- Ochoa, C.M., 1999. Las papas de Sudamérica: Perú, Parte 1, Available at: <https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=5bT-wR-zwo0C&pgis=1> [Accessed January 3, 2016].
- Olarte, S.M. 2000. Validación del modelo de simulación SUBSTOR del programa DSSAT 3.5, en dos variedades nativas de papa *Solanum tuberosum* spp *andigena* variedad Tuquerreña y *Solanum phureja* variedad Yema de huevo. Tesis Ingeniería agronómica. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía. Santafé de Bogotá D.C., Colombia.
- Quiroz, R.; Harahagazwe, D.; Condori, B.; Barreda, C.; Mendiburu, F. de; Amele, A.; Anthony, D.; Atieno, E.; Bararyenya, A.; Byarugaba, A.A.; Demo, P.; Guerrero, J.; Kowalski, B.; Anthony Kude, D.; Lung'aho, C.; Mares, V.; Mbiri, D.; Mulugeta, G.; Nasona, B.; Ngugi, A.; Njeru, J.; Ochieng, B.; Onditi, J.; Parker, M.; Randrianaivoarivony, J.M.; Schulte-Geldermann, E.; Tankou, C.M.; Woldegiorgis, G.; Worku, A. 2014. Potato yield gap analysis in SSA through participatory modeling: Optimizing the value of historical breeding trial data. CGIAR. Climate Change, Agriculture and Food Security (CCFAS); Roots, Tubers and Bananas (RTB); Humidtropics. 27 p. Working Paper. Online permanent at <http://hdl.handle.net/10568/67201>.

- Raymundo, R., Asseng, S., Cammarano, D., and Quiroz, R. 2014. Potato, sweet potato, and yam models for climate change: A review. *Field Crops Research*, 166, pp.173–185. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429014001622> [Accessed February 28, 2016].
- Rodríguez Baide J, Riaño H N, Van Den Berg M, Valdivia R, Boote K, Porter C, Stockle C, Jarvis A, Guevara E, Ruane A.; Informe del Taller sobre Modelación para la Evaluación Regional de Cambio Climático y Agricultura en Latinoamérica y el Caribe (LAC), 28 de septiembre - 2 de octubre 2015, Manizales, Colombia 28; EUR 27919 EN; doi:10.2788/757249.
- Sanabria, J. & Lhomme, J.P., 2013. Climate change and potato cropping in the Peruvian Altiplano. *Theoretical and Applied Climatology*, 112(3-4), pp.683–695.
- Sandaña, P. & Kalazich, J., 2015. Attainable CO₂ Emission of Ware Potatoes Under High Yield Conditions in Southern Chile. *American Journal of Potato Research*, 92(3), pp.318–325. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s12230-015-9433-0> [Accessed January 2, 2016].
- Sarmiento & Bowen, 2002. Desarrollo De Una Variedad De Papa Andigena En Los Andes Venezolanos Y Su Simulación Por El Modelo Substor Growth of an Andigenum Potato Variety in the Venezuelan Andes and Its Simulation By the Substor Model. *Ecotropicos*, 15(1), pp.111–122.
- Saxton, K.E. & Rawls, W.J., 2006. Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions. *Soil Science Society of America Journal*, 70(5), p.1569.
- Soltani, A., Stoorvogel, J.J. & Veldkamp, A., 2013. Model suitability to assess regional potato yield patterns in northern Ecuador. *European Journal of Agronomy*, 48, pp.101–108. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1161030113000282> [Accessed January 2, 2016].
- Steduto, P, Hsiao, T.C., Raes, D., and Fereres, E. 2009. AquaCrop—The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: I. Concepts and Underlying Principles. *Agronomy Journal*. Volume 101, Issue 3 2009.
- Trebejo, I., & Midmore, D.J. 1990. Effect of water stress on potato growth, yield and water use in a hot and a cool tropical climate. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* (1990) 114, 321-334.
- Travasso, M.I., Caldiz, D.O. & Saluzzo, J. A., 1996. Yield prediction using the SUBSTOR-potato model under Argentinian conditions. *Potato Research*, 39(2), pp.305–312.
- Van Keulen & Stol, 1995. Agro-ecological zonation for potato production. In *Potato ecology and modelling of crops under conditions limiting growth*. In Haverkort, A.J., and MacKerron, D.K.L. (eds.). *Potato Ecology and Modelling of Crops under*

Conditions Limiting Growth. 1995 Kluwer Academic Publishers.

Yumisaca, F. et al., 2009. Encontrando soluciones sostenibles con pequeños productores de papa a través de investigación participativa en la sierra centro de Ecuador. Sustainable alternatives for small potato producers in the highlands of Ecuador through participatory research. Revista Latinoamericana de la Papa. (2009). 15(1): 86-89

ANEXOS

I Guía del usuario del anexo digital

La base de datos de los experimentos está presentada en formato Excel, dividida en hojas con la información de clima, suelos, cultivos y manejo. Esta es la información mínima requerida para poder alimentar a los modelos de crecimiento de papa. En la parte de cultivos se ha utilizado los acrónimos que utiliza la plataforma DSSAT descrita para ICASA (Hunt et al. 2006). Los estudios para los cuales se presenta información con detalle suficiente para ser usados en la calibración de modelos de cultivos están descritos para cinco países: Bolivia, Ecuador, Perú, Colombia y Venezuela. Los estudios agronómicos con potencial para ser usados para validación están descritos para Argentina, Brasil, Cuba, Paraguay, Uruguay. Ver más detalles en el anexo digital.

II. Lista de modelos de cultivo y plataformas de simulación referidos en este informe y enlaces de descarga

AQUACROP: <http://www.fao.org/nr/water/aquacrop.html> elegir de 32 o 64 bits.

SOLANUM: <http://cipotato.org/csicc/download/>

SUBSTOR: <http://dssat.net/downloads/dssat-v46>

LINTUL: http://www.simileweb.com/models/plasmo/PLM_4/

Interface en línea http://www.simileweb.com/models/plasmo/PLM_4/

Plataforma BioMA: Incluye dos modelos genéricos para cultivos: **Wofost** y **Cropsyst**, y además dos modelos específicos: uno para la caña de azúcar, el **Canegro** y otro específico para el arroz, el **WARM**. Para descargar BioMA visite el portal de [Agri4cast](#), suscríbase al **Agri4cast Software Portal**; ingrese con su clave de usuario y seleccione entre la lista de versiones disponibles la versión para LAC de EUROCLIMA: *BioMA Spatial – EUROCLIMA 2 version*, o la versión más actualizada de esta. Para más información sobre la plataforma visite: el portal de [BioMA software](#).

III Estudios complementarios, que podrían incluirse en una segunda versión de esta base de datos.

	Institución	Trabajos de experimentación
ARGENTINA	Instituto de Tecnología Agropecuaria	Maria Travasso. et al.1996. Yield prediction using the SUBSTOR-potato model under Argentinian conditions <i>Potato Research</i> 39 (1996): 305 - 312
	Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Agropecuarias	de la Casa, A., Ovando G., Bressanini L., Rodríguez A., Martínez J. 2007. Uso del índice de área foliar y del porcentaje de cobertura del suelo para estimar la radiación interceptada en papa. <i>Agricultura Técnica (Chile)</i> 67(1):78-85
		de la Casa, A., Ovando, G., Bressanini, L., Martínez, J. 2014. Estimación del rendimiento potencial de papa en Córdoba, Argentina, a partir de la eficiencia en el uso de la radiación y de la productividad del agua. <i>Agriciencia</i> 31(2):75-91
BOLIVIA	PROINPA	Bruno Condori. et al. 2014. Managing Potato Biodiversity to Cope with Frost Risk in the High Andes: A Modeling Perspective. <i>PLoS ONE</i> 9(1): e81510.
BRASIL	Universidade Estadual Paulista	Mazetti Fernandes, A., Peres Soratto, R., Silva, B.L., Souza-Schlick, G.D. 2010. Crescimento, acúmulo e distribuição de matéria seca em cultivares de batata na safra de inverno. <i>Pesq. agropec. bras.</i> , Brasília, 45 (8): 826-835.

	Institución	Trabajos de experimentación
COLOMBIA	Universidad Nacional de Colombia	<p>Ñústez López, C.E., Santos Castellanos, M., Segura Abril, M. 2009. Acumulación y distribución de materia seca de cuatro variedades de papa (<i>Solanum tuberosum</i> L.) en Zipaquirá, Cundinamarca (Colombia). Revista Facultad Nacional de Agronomía- Medellín, 62(1): 4823-4834.</p> <p>Santos Castellanos, M., Segura Abril, M., Ñústez López, C.E. 2010. Análisis de Crecimiento y Relación Fuente-Demanda de Cuatro Variedades de Papa (<i>Solanum tuberosum</i> L.) en el Municipio de Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia). Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín, 63(1): 5253-5266.</p>
	SENAMHI (DGA)	Sanabria, J., Lhomme, J. P. 2013. Climate change and potato cropping in the Peruvian Altiplano. Theor. Appl Climatology, 112:683-695.
PERU	CIP y University of Wales	Nelson, D.G. 1987 Light interception, dry matter production and partitioning of the potato crop in tropical conditions. M.Sc. Thesis. University of Wales, 135 pp.
VENEZUELA	Universidad de los Andes. Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas.	Machado, D., Sarmiento, L. 2012. Respuesta del cultivo de papa a la combinación de diferentes fuentes de fertilización nitrogenada: evaluando la hipótesis de la sincronización. Bioagro 24(2): 83-92.

***Europe Direct is a service to help you find answers
to your questions about the European Union.***

Freephone number (*):

00 800 6 7 8 9 10 11

(*) The information given is free, as are most calls (though some operators, phone boxes or hotels may charge you).

More information on the European Union is available on the internet (<http://europa.eu>).

HOW TO OBTAIN EU PUBLICATIONS

Free publications:

- one copy:
via EU Bookshop (<http://bookshop.europa.eu>);
- more than one copy or posters/maps:
from the European Union's representations (http://ec.europa.eu/represent_en.htm);
from the delegations in non-EU countries (http://eeas.europa.eu/delegations/index_en.htm);
by contacting the Europe Direct service (http://europa.eu/europedirect/index_en.htm) or
calling 00 800 6 7 8 9 10 11 (freephone number from anywhere in the EU) (*).

(*) The information given is free, as are most calls (though some operators, phone boxes or hotels may charge you).

Priced publications:

- via EU Bookshop (<http://bookshop.europa.eu>).

JRC Mission

As the science and knowledge service of the European Commission, the Joint Research Centre's mission is to support EU policies with independent evidence throughout the whole policy cycle.



EU Science Hub
ec.europa.eu/jrc



@EU_ScienceHub



EU Science Hub - Joint Research Centre



Joint Research Centre



EU Science Hub



Publications Office

doi:10.2788/520167

ISBN 978-92-79-64946-2